

2次元走査型超音波触覚ディスプレイ

Tactile Display based on 2D Ultrasound Scanning

○岩本貴之 池田佳路 正 篠田裕之 (東京大学)

Takayuki Iwamoto, Yoshimichi Ikeda and Hiroyuki Shinoda
The University of Tokyo

We propose a tactile display which can control spatial distribution of pressure on a 2-D surface with quite sufficient spatial and temporal resolution. The tactile display consists of eight ultrasound linear arrays arranged at each side of an octagon. Simulation studies were carried out to examine the adequacy of the proposed design. The ratio of the intensity at the second peak was 13.1 % of that at the focal point. The results were satisfactory compared to other polygonal arrangement.

Key Words: tactile display, ultrasound, acoustic radiation pressure

1. はじめに

我々は、人工的に触覚を提示する手法として、超音波の音響放射圧による触覚提示を提案している[1][2]。音響放射圧による触覚提示手法は、圧力の様々な時間空間パターンを皮膚表面上に容易に正確に生成可能であると考えられる。またこの触覚提示手法は通常の物体との接触では生じにくい皮膚変形パターンを提示することも可能である。我々はこれまでの研究において、1次元リニアアレイを用いた試作システムを製作し、これらの特長を検証した。

本稿において我々は、以上の原理を用い、それを2次元に拡張した触覚ディスプレイの提案を行う。第2章では、提案する触覚ディスプレイの原理と概要を説明する。提案するシステムは八角形状に配置されたリニアアレイを用いるが、その妥当性についてシミュレーションを行い検証した。シミュレーションの結果は第3章で述べる。第4章において、提案するシステムの詳細を説明する。

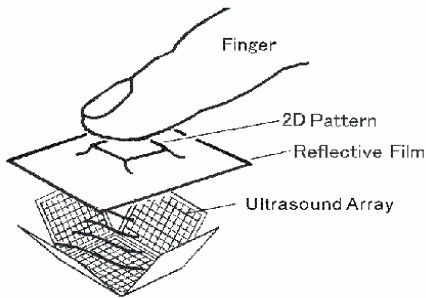


Fig. 1 Concept of the two dimensional scanning tactile display.

2. 原理

超音波による音響放射圧が触覚提示に有効であることはすでに Dalecki ら[3]により示されている。放射圧を触覚提示に用いる利点は、十分な空間解像度が得られること、周波数特性が触覚提示に必要と考えられる1 kHzまでの周波数において良好であること、などが挙げられる。音響放射圧の強度は、超音波のエネルギー密度に比例するため、超音波を集束し焦点を形成することで、その焦点において空間的に局在化された力を提示することが可能である。皮膚上に提示する力の時間空間パターンを制御するには、様々な方法が考えられ

るが、我々は、超音波の焦点を人間の触知覚よりも十分に高速に走査し、各刺激点での焦点の滞在時間を変えることにより、皮膚表面上に応力分布を生成する方法を提案している。これまでの研究において、我々は、1次元リニアアレイを用いた試作システムを製作し、これらの提案手法の検証を行った。試作システムにおいて、3 MHzの超音波を用いた際に焦点径は1 mmとなること、1 kHzまでの周波数特性が良好であることを確認した。また、皮膚表面の1次元軸上において、様々な時間空間パターンの触覚刺激を提示可能であることも確認できた。

この原理を拡張した2次元走査型触覚ディスプレイを提案する。2次元走査型触覚ディスプレイの概念図を図1に示す。振動子アレイから放射される超音波は焦点を形成し、皮膚表面において2次元的に走査される。皮膚に超音波が透過することのないように、皮膚表面には超音波反射膜[2]を装着する。この超音波反射膜はポリウレタンフィルムとシリコンゴムできており、非常に薄く、柔軟である。

音響放射圧による触覚提示手法を2次元に拡張するためには、単純には格子状の振動子アレイを用いればよい。しかしながら、格子状の振動子アレイは現状では製作が難しく、また、配線数が膨大になるなどの問題がある。そこで、我々は、格子状の振動子アレイではなく、通常のリニアアレイを同心八角形状に配置することで、2次元走査型触覚ディスプレイの実現を試みる。図2に提案する八角形配置振動子の概要を示す。全体は8個のリニアアレイにより構成され、ひとつのリニアアレイ上のPZTの素子数は40枚である。このような構成にした場合、格子状アレイとは異なり、通常に入手可能なリニアアレイの組み合わせでよく、また、配線する素子数も減らすことができるという利点がある。

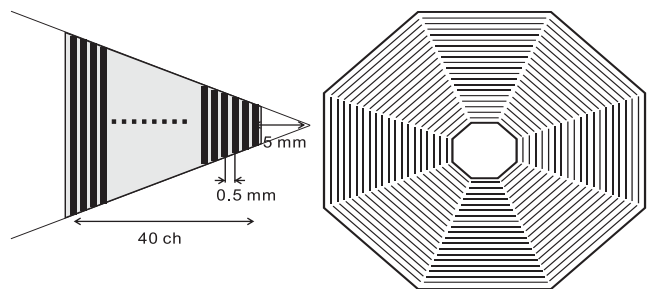


Fig. 2 Octagonal arrangement of eight linear arrays.

3. シミュレーション

提案する八角形状配置リニアアレイの有効性を検証するため、焦点形成時の超音波強度分布に関するシミュレーションを行った。

3.1 シミュレーション条件

リニアアレイ上の各 PZT 素子は近似的に点音源の集合とみなした。八角形配置の場合の各リニアアレイの概略を、図 2 左に示す。八角形中心に最も近い素子は中心から 5mm の距離に配置された。1つのリニアアレイに含まれる素子数は 40 枚とした。素子のピッチは 0.5 mm にとられた。焦点は、構成される同心多角形の中心上で、焦点距離 30 mm となる位置に固定された。他の多角形配置の場合も同様にした。

3.2 シミュレーション結果

八角形配置のシミュレーション結果を図 3 に示す。x 軸, y 軸は、八角形の中心が原点となるような座標軸であり、範囲は -5 mm から 5 mm である。z 軸は焦点での強度で正規化した超音波強度を表している。図 3 を見ると、焦点付近に第 2 のピークが 8 個出現している様子が見られる。このピークにおける強度は、焦点での強度の 13.1% であった。

八角形配置とその他の多角形配置を定量的に比較するため、その他の多角形配置についてもこの第 2 のピークの高さを見積もった。結果を図 4 に示す。横軸は多角形の辺の数、縦軸は第 2 のピークにおける強度を示す。明らかに、辺の数が増えるに従い、第 2 にピークにおける強度は小さくなっていく。しかしながら、多角形の辺の数が大きい場合、それだけ多くのリニアアレイが必要になり、また素子数も増え、駆動回路など周辺機器の製作が困難になる。これらの事実を踏まえ、我々は今回は八角形の配置を採用し、それによる 2 次元走査型触覚ディスプレイの設計を行った。

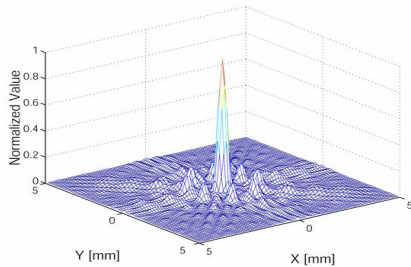


Fig. 3 Simulation results for the octagonal arrangement.

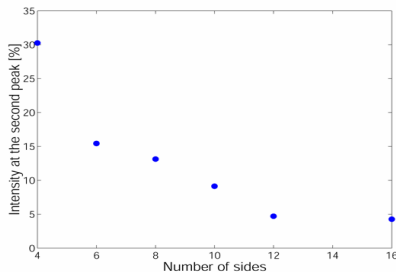


Fig. 4 Intensities at the second peak for polygonal arrangements.

4. システム

現在、我々は第 2 章において述べた原理に基づき、音響放射圧を用いた 2 次元走査型触覚ディスプレイを製作している。

本章では、現在製作しているシステムの詳細を述べる。システムは主に、PC、駆動回路、リニアアレイからなる。図 5 にシステムのブロック図を示す。リニアアレイの各 PZT 素子のドライブ用信号は、各素子から放射された超音波の位相が焦点において揃うように位相を制御される。位相制御用の遅延回路は CPLD 中に各チャンネルごとに 4 ビットカウンタを設けて実装している。メモリには、焦点の位置座標とそれに対応した各素子の位相情報が書き込まれており、PC から焦点の位置座標が CPLD に与えられると、CPLD はメモリから各素子の位相情報を読み出し、それに基づいて各信号の位相制御を行う。

リニアアレイ（日本電波工業株式会社製）は 40 チャンネルの PZT 素子からなる。これらの PZT は 0.5 mm ピッチで配置されている。最も短い素子と最も長い素子の長さは、それぞれ、3.3 mm, 19.9 mm である。共振周波数は 3 MHz である。

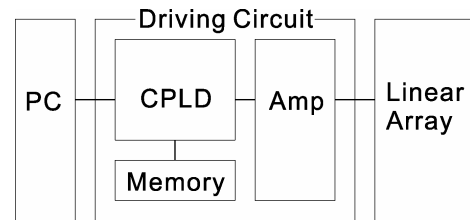


Fig. 5 Block diagram of the proposed system.



Fig. 6 One of the eight linear arrays.

5. まとめ

本稿では、音響放射圧を利用する 2 次元走査型触覚ディスプレイの提案を行った。リニアアレイを八角形状に配置することで、通常のリニアアレイによっても 2 次元走査可能なディスプレイが実現できることを示した。現在は、提案手法に基づいた実際のディスプレイを製作中である。

謝辞 本研究の一部は文部省科研費補助金（特別研究員奨励費 15-11561）によっている。

文献

- [1] T. Iwamoto and H. Shinoda, "High Resolution Tactile Display using Acoustic Radiation Pressure," in *SICE Annual Conference 2004*, 2004.
- [2] T. Iwamoto and H. Shinoda, "A Tactile Display using Ultrasound Linear Phased Array," in *The Fourteenth International Conference on Artificial reality and Telexistence (ICAT2004)*, 2004.
- [3] D. Dalecki, S.Z. Child, C.H. Raeman and E. Carlstensen, "Tactile Perception of Ultrasound," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 97 (5), Pt.1, pp. 3165-3170, May 1995.